

La enseñanza de los conceptos de oxidación y de reducción contextualizados en el estudio de la corrosión

Leontina Lazo Santibáñez¹, Jorge Vidal Fuentes², Rosa Vera Aravena³

Instituto de Química, Facultad de Ciencias, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso, Chile. ¹llaño@ucv.cl, ²jorge.vidal.fuentes@gmail.com, ³rvera@ucv.cl

[Recibido en mayo de 2012, aceptado en octubre de 2012]

La contextualización de la química es de gran importancia para nuestra sociedad, pues permite acercar esta ciencia a los estudiantes de la educación secundaria facilitando de esta forma el proceso de aprendizaje, de modo que los alumnos puedan identificar y explicar los fenómenos que ocurren a su alrededor. Como una forma de mejorar el aprendizaje de los estudiantes, la unidad Procesos de oxidación-reducción, se contextualizó a través del proceso de corrosión de los metales, que permite situarlos en contextos reales; para lo cual se realizaron dos experiencias, una de ellas sobre las reacciones de corrosión que se desencadenan en un tiempo prolongado debido al permanente contacto de las monedas de cien pesos chilenos, la antigua y la actual con el sudor humano, verificando cuál de las dos aleaciones se ve más afectada. La otra experiencia, consiste en determinar cualitativamente el grado de corrosión que experimentan las monedas del mismo valor mencionado anteriormente, a través de dos medios, un suelo seco y un suelo húmedo. En ambas actividades se utilizaron reactivos químicos de fácil adquisición.

Palabras clave: Oxidación-reducción; Corrosión; Contextualización.

Teaching the concepts of oxidation and reduction contextualized in the study of corrosion

The contextualization of chemistry is of great importance to our society as it allows to bring this science to students of secondary education thus facilitating the learning process, so that students can identify and explain the phenomena that occur around. As a way to improve student learning, driven redox processes are contextualized through the process of corrosion of metals, which can place them in real contexts, for which there were two experiences, one on corrosion reactions that occur over an extended time due to constant contact of the coins one hundred Chilean pesos, the old and current human sweat by verifying which of the two alloys are most affected. The other experience is to determine qualitatively the degree of corrosion experienced by coins of the same value mentioned above, through two media, a dry and moist soil, respectively. Both activities were used with chemical reagents readily available..

Keywords: Oxidation-reduction; Corrosion, Contextualization.

Introducción

La corrosión se define como el deterioro que sufre un material, habitualmente un metal, donde las reacciones químicas que ocurren son de oxidación y de reducción, influenciadas por las condiciones del medio en que se encuentra, en las que un metal es atacado por alguna sustancia del ambiente y convertido en un compuesto que altera la estructura interna del material (Heredia Avalos 2011).

La mayoría de los metales sufre un proceso llamado oxidación, donde el metal al estar en contacto con el oxígeno del aire a temperatura ambiente reacciona y se deteriora, este proceso bajo las condiciones antes mencionadas es termodinámicamente favorable, solo inhibido por alguna sustancia o material que evite la corrosión y el deterioro del metal (Askeland y Phulé 2004).

La contextualización de la química es de gran importancia en la sociedad del siglo XXI, de tal manera que los estudiantes puedan identificar y explicar los fenómenos que ocurren a su alrededor. El contenido de óxido-reducción y, en particular, la corrosión, son enseñados en Tercer Año de Enseñanza Media según los Planes y Programas de Química, propuestos por el

Ministerio de Educación de Chile, en el año 2000. Es por ello que este trabajo puede ser desarrollado con estudiantes del 11° y 12° grado de la educación secundaria, que comprende las edades entre 17 y 18 años o en el primer año de Bachillerato, que compone las edades entre 19 y 20 años o bien en Academias Científicas.

Metodología

El contexto planteado es el comportamiento de dos tipos de monedas en dos medios distintos en el cual interviene el proceso de corrosión.

Los objetos de estudio son dos monedas, ambas poseen la misma denominación, pero difieren en sus componentes químicos, una de ellas está hecha de CuNiAl, que posee un 92% de Cu, 6% de Ni, 2% de Al (la cual llamaremos Moneda A) y la otra está compuesta por un núcleo de Alpaca (70% Cu, 15% Ni, 15% Zn) y un anillo compuesto por CuAlNi (92% Cu, 6% Al, 2% Ni), la cual llamaremos Moneda N.

Si bien estas monedas están compuestas por aleaciones diferentes, su comportamiento al ser sometidas a agentes agresivos es similar; por ejemplo, cuando se fabrican las monedas, tienden a ser brillantes y de un color característico, pero al ser manipuladas por las personas, el sudor de sus manos provoca pérdida de brillo y cambios de coloración, los cuales se acentúan a medida que pasa el tiempo. Esto se debe a que el sudor provoca una reacción de corrosión, deteriorando progresivamente las monedas. Por otra parte, otro agresivo agente al cual las monedas y otros materiales, generalmente metálicos, están inmersos por diversos motivos es el suelo, el cual provoca deterioros corrosivos en las estructuras, siendo especial preocupación de los ingenieros de obra y mantenimiento durante la construcción de edificios (Bermúdez *et al.* 2001, Botero *et al.* 2009).

Para el desarrollo de esta propuesta, se plantearon los siguientes objetivos:

- a) identificar y comparar cuantitativamente la pérdida de masa que genera la corrosión en distintos metales y aleaciones; y
- b) reconocer cualitativamente la corrosión producida mediante la coloración formada en los metales y aleaciones; con los objetivos planteados, se procederá a describir la metodología experimental que los estudiantes llevaron a cabo para desarrollar los prácticos.

Práctico n° 1

El desarrollo de este práctico se basó en una secuencia de etapas, las cuales se detallan a continuación:

- Los estudiantes seleccionaron dos monedas A, dos monedas N, dos anillos pertenecientes a la moneda N y dos núcleos pertenecientes a la misma moneda; es importante mencionar que se utilizó una muestra control en duplicado para cada objeto de estudio.
- Una vez seleccionadas las monedas y trozos de monedas a estudiar, se determinó la masa inicial de cada una de ellas.
- A cada moneda A, moneda N, anillos y núcleos se le realizó un orificio diminuto y utilizando hilo de pescar se ataron de manera independiente, posteriormente las monedas fueron sumergidas en 100 mL de una solución de sudor artificial (formado por 5 g de NaCl + 1 g de urea por cada litro de disolución, cuyo pH es 6,05).
- Luego de sumergir las monedas, se registró una fotografía y observaciones semanales por un periodo de tiempo de un mes, con la finalidad de obtener evidencia clara de los cambios que sufren las monedas.

- Finalizado este tiempo, se retiraron las monedas de la solución y se decapó el producto de corrosión formado y se registró la masa final de cada pieza estudiada.

Práctico n° 2

- Los estudiantes seleccionaron dos monedas A, dos monedas N, dos anillos pertenecientes a la moneda N y dos núcleos pertenecientes a la misma moneda; es importante mencionar que se utilizó una muestra control para cada objeto de estudio.

- Una vez seleccionadas las monedas y trozos de monedas a estudiar, se determinó la masa inicial de cada una de ellas.

- Luego se utilizó una cápsula de porcelana grande en la cual se depositó tierra cuyo pH era 7,61 y posteriormente se enterraron dos monedas A, dos monedas N y un núcleo con su respectivo anillo.

- Las monedas fueron enterradas en un suelo «sin tratamiento» y en otro «con tratamiento», donde este último fue humedecido dos veces por semana con agua potable durante un mes.

- Luego de enterrar las monedas, se registró una fotografía y observaciones semanales por un periodo de tiempo de un mes, con la finalidad de obtener evidencia clara de los cambios que sufren las monedas.

- Finalizado este tiempo, se retiraron las monedas de la tierra, se decapó el producto de corrosión formado y se registró la masa final de cada pieza estudiada.

Discusiones y análisis

Práctico n° 1

Análisis cuantitativo En la tabla 1 se muestran los resultados obtenidos después de la realización del práctico n° 1.

Tabla 1. Pérdida de masa de las monedas en la solución de sudor (pH=6,05).

Material	Masa inicial (g)	Masa final (g)	Pérdida de masa total (g)
Moneda A (muestra 1)	8,779	8,752	0,027
Moneda A (muestra 2)	8,861	8,832	0,029
Moneda N (muestra 1)	7,535	7,463	0,072
Moneda N (muestra 2)	7,527	7,460	0,067
Anillo moneda N (muestra 1)	3,249	3,226	0,023
Anillo moneda N (muestra 2)	3,246	3,220	0,026
Núcleo moneda N (muestra 1)	4,310	4,269	0,041
Núcleo moneda N (muestra 2)	4,314	4,268	0,046

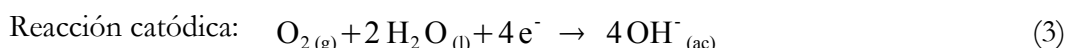
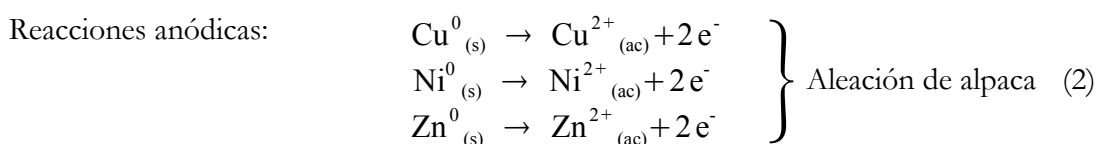
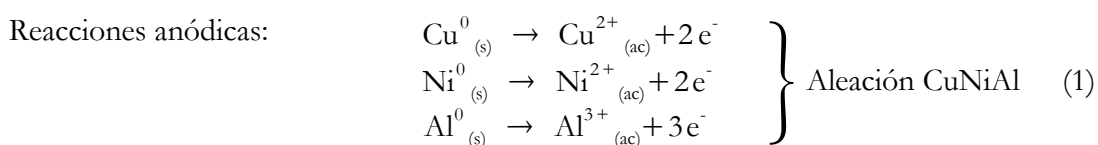
Conforme a los resultados registrados durante las prácticas desarrolladas y evidenciados en la tabla 1, se observa que las monedas sufren un deterioro paulatino al ser expuestas al sudor por tiempos prologados; esto se debe a que el oxígeno presente en el aire y los iones cloruros (Cl^-) que se encuentran en la solución sudorosa artificial rompen el estado pasivo en que se encuentran los materiales, dejando sin protección al metal.

Una vez que se ha perdido la pasivación, la exposición de un metal en ambientes ricos en oxígeno y humedad repercutirá en la posibilidad cierta de que el metal se corroa.

La cantidad de masa perdida durante la exposición de las monedas en la solución sudorosa artificial es bastante pequeña, pero en ningún caso despreciable, debido a que primeramente permite a los estudiantes comprobar el deterioro paulatino que sufren los metales al ser sometidos a un ambiente agresivos, en este caso las monedas; por otra parte, también permite que los aspectos enseñados teóricamente puedan ser investigados con materiales de uso cotidiano y de bajo costo. Así mismo, la exposición de materiales a soluciones con altas concentraciones de cloruros puede aumentar el potencial de reducción del metal y así fomentar la reacción de corrosión.

Análisis cualitativo A continuación se realiza una aproximación general de las reacciones anódicas que se producen en las monedas estudiadas; sin embargo debemos considerar que estas monedas están fabricadas en base a aleaciones metálicas, cuyos componentes están en diferentes proporciones, por ende la reacción anódica principal que se produce es la del cobre, ya que este se encuentra en mayor proporción en ambos tipos de monedas estudiadas.

Por otra parte, la reacción catódica (3) es favorecida por el pH al que está la solución sudorosa ($\text{pH}=6,05$), donde el oxígeno actúa como un agente oxidante y se reduce al ion hidroxilo.



Las reacciones antes mencionadas se ven favorecidas por sus potenciales de reducción, los cuales se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Potenciales de reducción.

Electrodo	Proceso catódico de reducción	E^0 (volt)
$\text{Al}^{3+} \text{Al}$	$\text{Al}^{3+} + 3e^- \rightarrow \text{Al}$	-1,676
$\text{Zn}^{2+} \text{Zn}$	$\text{Zn}^{2+} + 2e^- \rightarrow \text{Zn}$	-0,7621
$\text{Ni}^{2+} \text{Ni}$	$\text{Ni}^{2+} + 2e^- \rightarrow \text{Ni}$	-0,236
$\text{Cu}^{2+} \text{Cu}$	$\text{Cu}^{2+} + 2e^- \rightarrow \text{Cu}$	0,3394
$\text{O}^- \text{O}_2$	$\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4e^- \rightarrow 4\text{OH}^-$	0,0414

Los datos con los productos de corrosión del cobre aparecen en la tabla 3, la cual se utilizó para caracterizar de manera cualitativa los compuestos coloreados que se formaron en las monedas A y N.

Tabla 3. Productos de corrosión del cobre (Krätschmer *et al.* 2002).

Nombre	Fórmula	Color
Cuprita: óxido de cobre I (Cu)	Cu_2O	Rojo ladrillo
Tenorita: óxido de cobre II	CuO	Negro
Malaquita	$\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$	Verde
Azurita (Az)	$\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$	Azul
Calconatronita	$\text{Na}_2\text{Cu}(\text{CO}_3)_2$	Azul verdoso
Langita (La)	$\text{Cu}_4(\text{SO}_4)(\text{OH})_6 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Verde oscuro brillante
Antlerita (An)	$\text{Cu}_3\text{SO}_4(\text{OH})_4$	Verde negruzco
Brocantita (Br)	$\text{Cu}_4(\text{SO}_4)(\text{OH})_6$	Verde claro
Atacamita (At)	$\text{CuCl}_2 \cdot 3\text{CuO} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	Verde claro a oscuro
Paratacamita (Pa)	$\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$	Verde
Ponsjankita (Po)	$\text{Cu}_4(\text{SO}_4)(\text{OH})_6 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Verde

Moneda A (cuarta semana de aplicación) Si analizamos la figura 1 se puede apreciar que hay un cambio evidente. Esto se debe al producto que se formó progresivamente por ambos lados de la moneda; así mismo, también se puede observar el cambio de color, promovido por la cantidad de producto que aumentó a medida que avanzó el tiempo, en este sentido las coloraciones evidenciadas mayormente fueron el verde claro, que durante el desarrollo de la experiencia cambió a verde azulado, los cuales corresponden a productos de la corrosión del cobre señalados en la tabla 3.



Figura 1. (Izq.) Aspecto superficial de la moneda A por reverso. (Der.) Aspecto superficial de la moneda A por reverso con un zoom de 130x.

Para comprobar la presencia de otros productos de corrosión del cobre se utilizó un microscopio digital, con un zoom de 130x, que permitió visualizar la evidencia clara de otros productos que a simple vista no es perceptible; al igual que en el ejemplo anterior, estos productos fueron caracterizados a través de los colores que aparecen en la tabla 3. Entre las imágenes obtenidas con el microscopio, se puede apreciar pequeñas zonas de coloración blanca, que corresponden al hidróxido de aluminio III ($\text{Al}(\text{OH})_3$), que se forma entre el ion hidróxido de la reacción catódica y el aluminio presente en las monedas.

Bajo el producto de la corrosión de color verde se encontró una capa de óxido de color rojo que corresponde a cuprita (óxido de cobre I), este óxido se forma predominantemente en condiciones de $\text{pH}=6$, según el diagrama de Pourbaix, el cual actúa como un pasivante. Sobre

este óxido se pueden observar diversas coloraciones que van desde el verde al azul; estas tonalidades corresponden a diferentes productos de cobre que se forman al estar inmersos en una solución sudorosa artificial, la cual posee un exceso de iones cloruro y un medio que contiene iones hidróxido, generados en el cátodo, bajo estas condiciones se pueden formar algunos productos del cobre, que pueden ser atacamita o paratacamita.

Observando detenidamente las imágenes, podemos encontrar zonas donde existe una coloración más intensa, que corresponde a una mayor cantidad de producto de corrosión; en estas zonas, la concentración de cobre es mayor, debido a que posee una estructura cúbica centrada en las caras, las celdas son más compactas y en consecuencia el material es más denso. Sin embargo al haber mayor porcentaje de átomos de cobre en la superficie de contacto de las celdas, le permiten mayor interacción con el medio y al poseer una electronegatividad baja, este metal tenderá a perder electrones y se oxidará (Brown *et al.* 2004).

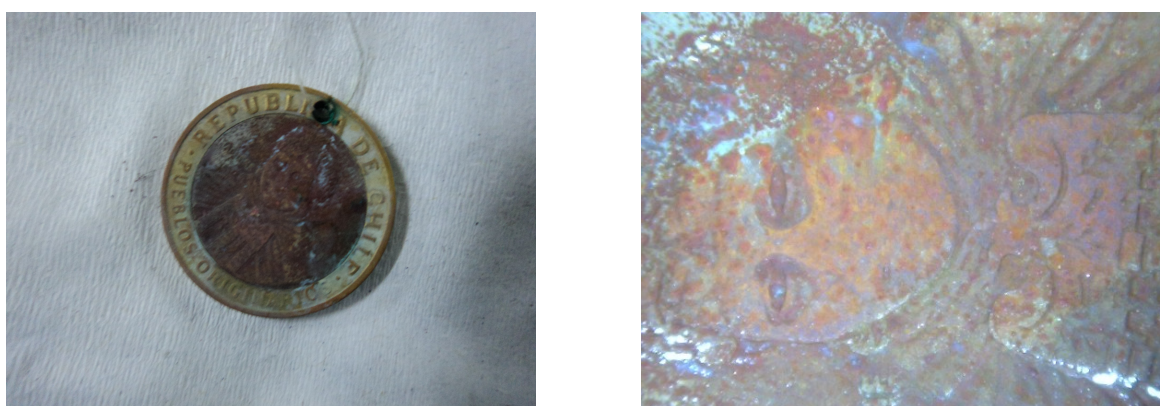


Figura 2. (Izq.) Aspecto superficial de la moneda N por reverso. (Der.) Aspecto superficial de la moneda de \$100 nueva por reverso con un zoom de 130X.

Al igual que la moneda A, la moneda N posee un mayor porcentaje de cobre en las dos aleaciones que la componen y el comportamiento es similar al antes mencionado.

En la figura 2 se puede apreciar que la cuprita formada, coloración rojo ladrillo, se intensificó en ambas caras del núcleo y no así en el anillo; esto se debe a las diferentes composiciones porcentuales de metales presentes en las distintas aleaciones que forman la moneda N. El núcleo contiene un porcentaje elevado de zinc, cuyo potencial de reducción es menor que el del resto de los metales que componen cada aleación, es por ello que, la reactividad de este metal es favorecida termodinámicamente en las condiciones trabajadas, actuando como un ánodo de sacrificio y produciendo un mayor producto de corrosión en esta zona, como minerales de cobre caracterizados por su coloración en la tabla 3 y cloruro de zinc en solución, este último se forma debido a que la solución de sudor aporta los iones cloruro. Para reconocer la presencia del ion Zn^{2+} , se realizó tomando una muestra de 4 gotas de solución de sudor de $\text{pH}=6,05$ con 5 gotas de ácido acético, añadiendo eventualmente 3 gotas de acetato de sodio para tamponear la solución a un $\text{pH}=2,5-3,0$, posteriormente se agregó 5 gotas de ácido sulfhídrico, para propiciar los iones sulfuro y no bajar el pH del rango dispuesto anteriormente y formar el precipitado blanco correspondiente al sulfuro de zinc ($\text{H}_2\text{S}_{(\text{ac})} + \text{Zn}^{2+}_{(\text{ac})} \rightarrow \text{ZnS}_{(\text{s})} + 2\text{H}^{+}_{(\text{ac})}$); por su parte, el anillo posee un porcentaje menor de aluminio y no posee zinc, por lo cual la hace menos activa electroquímicamente.

Práctico n° 2

Análisis cuantitativo En la tabla 4 se muestran los resultados obtenidos después de la realización del práctico n° 2.

Conforme a los resultados obtenidos y explicitados en la tabla 4, se observa que a medida que avanzó el tiempo, las monedas que estaban en el suelo con tratamiento sufrieron una mayor oxidación, causando un deterioro paulatino y progresivo del material.

Análisis cualitativo Según datos bibliográficos (Thompson y Troeh 2008), el suelo está compuesto principalmente de materia mineral (35%–45%), materia orgánica (5%–15%), agua (25%) y aire (25%), estos porcentajes serán considerados como una aproximación para el estudio y su análisis; por otra parte, otra variable a considerar es la característica del suelo, en particular la porosidad y el tamaño de las partículas que lo componen.

Tabla 4. Pérdida de masa de las monedas en suelo con tratamiento y sin tratamiento (pH=7,61).

	Suelo con un 35% de humedad luego de recibir un tratamiento			Suelo con un 10% de humedad sin recibir tratamiento		
Material	Masa inicial (g)	Masa final (g)	Pérdida de masa total (g)	Masa inicial (g)	Masa final (g)	Pérdida de masa total (g)
Moneda A (muestra 1)	8,957	8,935	0,022	8,849	8,846	0,003
Moneda A (muestra 2)	8,900	8,879	0,021	8,985	8,983	0,002
Moneda N (muestra 1)	7,511	7,456	0,052	7,546	7,538	0,008
Moneda N (muestra 2)	7,561	7,503	0,058	7,523	7,514	0,009

Moneda A De acuerdo a lo realizado en el práctico, se puede observar en las figuras 3 y 4 que las monedas se corroen, por lo tanto, podemos deducir que en el suelo hay presencia de oxígeno y agua. El suelo utilizado está compuesto por una mezcla de arcilla y arena, donde las dos especies antes mencionadas pueden quedar retenidas durante algún tiempo entre sus partículas sin que se escapen a la atmósfera. Si consideramos el suelo sin tratamiento, la humedad que este posee irá disminuyendo por efecto de la evaporación y en consecuencia el producto corrosivo será limitado. Por su parte, en el suelo con tratamiento el producto corrosivo será mayor, debido a los constantes volúmenes semanales que fueron añadidos, manteniendo así las condiciones que permiten la corrosión de la moneda; además, este suelo tratado tendrá una resistividad menor, debido a que el agua aumenta su conductividad y capacidad de intercambio catiónico; en este sentido, los iones que podrían estar presente en nuestros suelos son Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} y HCO_3^- , y la arcilla posee poli anión ($\text{Si}_2\text{O}_5^{2-}$), así mismo, el agua aporta iones que participan directamente en el proceso corrosivo, podemos mencionar los iones cloruro, que rompen la pasividad del metal, y los iones sulfato que fomentan la corrosión microbiológica (Frontini 2005, Araya *et al.* 2008).

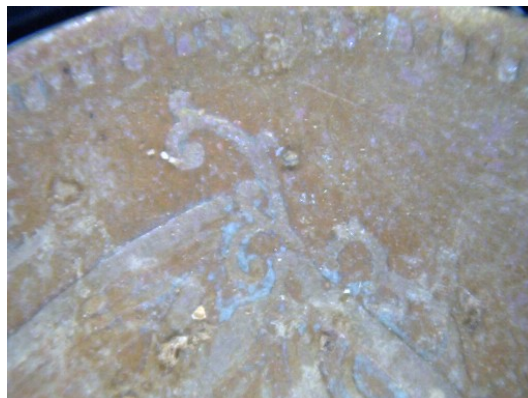


Figura 3. Cuarta semana de aplicación; suelo tratado (moneda A). (Izq.) Aspecto superficial de la moneda A por reverso. (Der.) Aspecto superficial de la moneda A por reverso con un zoom de 130X.



Figura 4. Cuarta semana de aplicación; suelo no tratado (moneda A). (Izq.) Aspecto superficial de la moneda A por reverso. (Der.) Aspecto superficial de la moneda A por reverso con un zoom de 130x.

El producto corrosivo que se aprecia en las figuras se explica con las reacciones (1), y la reacción catódica que se produce es la misma que en el experimento anterior tal cual se muestra en la reacción (3).

Los procesos corrosivos que ocurren en los prácticos 1 y 2 son similares, donde los cloruros y el oxígeno favorecen la reacción con el cobre, que está en una mayor proporción en ambas monedas.



Figura 5. Cuarta semana de aplicación; suelo tratado (moneda N). (Izq.) Aspecto superficial de la moneda N por reverso. (Der.) Aspecto superficial de la moneda N por reverso con un zoom de 130x.

Los productos de corrosión encontrados en las monedas N se explican con las reacciones anódicas explicitadas en el práctico n°1, reacción (2), y la reacción catódica es exactamente igual a la reacción (3). La reacción con el cobre se ve favorecida, primeramente por estar en mayor proporción respecto a los otros metales que la componen y además por el medio rico en agentes corrosivos como los iones cloruro del suelo y el oxígeno del ambiente (Botero *et al.* 2009).

Con la ayuda de la tabla 3, se caracterizaron los posibles productos de corrosión producidos en las monedas inmersas en los suelos; además, debemos considerar las especies que están presentes en los suelos utilizados, las cuales pueden producir otros productos tales como malaquita, azurita, langita, antlerita, brocantita, atacamita, paratacamita y ponsjankita, donde estas especies presentan en su estructura los iones encontrados en los suelos.

Observando las figuras 5 y 6, podemos observar que una de las caras de cada moneda presenta mayor cantidad de producto corrosivo, esto se debe a que las monedas fueron depositadas de manera horizontal en la tierra, produciendo que la cara superior de ellas tengan mayor

contacto con la humedad y con el oxígeno del ambiente, fomentando así las reacciones de óxido-reducción por un lado en desmedro de la cara opuesta de las monedas.



Figura 6. Cuarta semana de aplicación; suelo no tratado (moneda N). (Izq.) Aspecto superficial de la moneda N por reverso. (Der.) Aspecto superficial de la moneda de \$100 nueva por el reverso con un zoom de 130X.

Conclusiones

En la actualidad se fomenta la enseñanza de las ciencias contextualizada y atractiva para los estudiantes, promoviendo problemáticas que ellos puedan desarrollar de manera teórica y/o práctica, facilitando así la comprensión y la asimilación de los contenidos enseñados en química (Valero y Mayorga 2009). Es por eso que la labor del docente es importante en el momento de decidir la estrategia de enseñanza, como en la elección del contenido, específicamente que éste se relacione con la unidad a enseñar y que sea adaptable a un contexto cotidiano, considerando el trabajo experimental como la metodología primordial del aprender haciendo, con la utilización de materiales y reactivos de bajo costo (Cárdenas 2006). Sin embargo, para enseñar la unidad de oxidación-reducción, se utilizó como estrategia la corrosión de los metales presentes en las monedas, ya que es un fenómeno cercano y que está inmerso dentro de nuestro diario vivir, el cual se explica a través de los procesos que se enseñan en esta unidad. De acuerdo a esto, se diseñó un trabajo experimental del cual se concluyó lo siguiente:

Las monedas A y N, que fueron sumergidas en una solución de sudor artificial cuyo pH era 6,05, sufrieron corrosión significativa en su superficie después de un mes de estudio, provocada por el contacto del medio rico en agentes corrosivos como iones cloruro, oxígeno, y los metales que componen las diferentes aleaciones que conforma cada moneda.

Una importante diferencia observada en la moneda N, se debe a que esta está constituida por un núcleo de alpaca (70% Cu, 15% Ni y 15 % Zn) y un anillo de CuAlNi (92% Cu, 6% Al y 2% Ni) y la moneda A de CuNiAl (92% Cu, 6% Ni y 2% Al), donde la primera de ellas presentó una mayor actividad reactiva debido a la presencia del cinc en un porcentaje relativamente elevado, el cual es un metal cuya reacción es termodinámicamente favorable, produciendo un ataque corrosivo más intenso en este sector de la moneda respecto al anillo. Diferente es el comportamiento de las otras aleaciones presentes en las monedas, ya que al contener un mayor porcentaje de cobre, el cual es un metal noble, su reacción es menos favorecida termodinámicamente, produciendo así una menor corrosión en estas zonas de las monedas.

Respecto al práctico n° 2, la corrosión fue mayor en las monedas que fueron depositadas en el suelo con tratamiento, debido a que las condiciones de mayor humedad (respecto al suelo sin

tratar) y la presencia de oxígeno del ambiente, posibilitaron la corrosión efectiva del metal. Por su parte, la corrosión evidenciada fue mínima en las monedas que estuvieron en contacto con el suelo sin tratar, debido principalmente a la menor humedad que presentó este suelo, produciendo así un medio menos agresivo para las monedas.

Referencias

- Araya R., Bobadilla C., Rosales B., Vera R. (2008) Corrosión de aleaciones aeronáuticas de aluminio y sus componentes relacionada a la expresión proteica del hongo *Hormoconis resinae*. *Informática y tecnología* 19(2), 59-68.
- Askeland D. R., Phulé P. P. (2004) *Ciencia e ingeniería de los materiales*. México. Internacional Thomson Editores S.A. de C.V.
- Bermúdez M. A., Alaejos P., Lanza V. (2001) *La corrosión del hormigón armado en ambiente marino: contenido crítico de cloruros*. Madrid. CEDEX – Ministerio de Fomento.
- Botero M., Peñaranda S., Estrada D. (2009) Corrosión del cobre en suelos con diferentes grados de agresividad. *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales* 1(2), 801-807.
- Brown T., Bursten B., Burdge J. (2004) *Química: la ciencia central*. México. Pearson Educación.
- Cárdenas F. (2006) Dificultades de aprendizaje en química: caracterización y búsqueda de alternativas para superarlas. *Ciência & Educação* 12(3), 333-346.
- Frontini M. (2005) *Corrosión microbiológica*. Tesis grado de Magister en Ciencia de Materiales, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Mar del Plata, Argentina.
- Heredia Avalos S. (2011) Experiencias sobre corrosión en metales de uso cotidiano. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 8 (Núm. Extraordinario) 466-475.
- Krätschmer A., Wallinder O., Leygraf C. (2002) The evolution of outdoor copper patina. *Corrosion Science* 44, 425-450.
- Thompson L. y Troeh F. (2008) *Los suelos y su fertilidad*. Barcelona. Reverté.
- Valero P. y Mayorga F. Y. (2009) Estrategias para el aprendizaje de la química de noveno grado apoyadas en el trabajo de grupos cooperativos. *Revista Universitaria de Investigación* 10(1), 101-135.